

#3
PRIVAT
99/01

EP 99/10094

ESU

EPO - Munich
63

15. Feb. 2000



Bescheinigung

Die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. in München/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Ultraschall-Leistungswandler"

am 17. Dezember 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig die Symbole B 06 B, G 10 K und G 01 N der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 8. Februar 2000

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Aktenzeichen: 198 61 017.3

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

Ultraschall-Leistungswandler

Die Erfindung betrifft einen Ultraschallwandler gemäß dem Oberbegriff des Anspruch 1, wie er aus der Werkstoffprüfung bekannt ist, und einen Druckgasgleitschuh nach Anspruch 7, insbesondere für die Aufnahme eines Ultraschallwandlers nach den Ansprüchen 1-6.

Stand der Technik

Die in der medizinischen Ultraschalldiagnostik und der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung gebräuchlichen piezoelektrischen Ultraschallwandler enthalten als schallerzeugendes und schallempfangendes Element üblicherweise eine piezoelektrische Platte oder Scheibe (meist aus piezoelektrischer Keramik), die in Dickenresonanz betrieben wird (die Plattendicke entspricht einer halben Wellenlänge der Dichtwelle). Rückseitig ist die Keramik meist mit einem Dämpfungskörper verbunden, der die Schwingung des Piezo-Elements bedämpft und somit die Bandbreite des Prüfkopfes bestimmt. Frontseitig ist der Prüfkopf je nach Anwendungsfall mit Anpaß- und Schutzschichten oder Kunststoffkeilen (zur Schrägeinschallung in Festkörper) versehen.

Bei den meisten Ultraschallgeräten wird der Piezo-Wandler mit einem kurzen elektrischen Spannungsimpuls (meist zwischen 100 und 1000 Volt) angeregt. Die in das frontseitige Medium abgestrahlte Energie ist bei vorgegebenem Prüfkopfdesign (Geometrie, Frequenz, Materialien) von der Bedämpfung abhängig: je geringer die akustische Impedanz des Dämpfungskörpers im Vergleich zu der des Piezo-Schwingers, um so weniger Energie wird rückseitig der Keramik entzogen und um so höher ist die Energie des frontseitig abgestrahlten Ultraschallimpulses. Wird umgekehrt die akustische Impedanz des Dämpfungskörpers der der Piezokeramik angeglichen, so fließt der größte Teil der im Piezomaterial erzeugten Energie in den Dämpfungskörper, was sich frontseitig in der Ultraschallstrahlung energieschwächerer - aber dafür kürzerer - Ultraschallsignale äußert. Vereinfacht läßt sich sagen: schwach bedämpfte Prüfköpfe liefern breite Impulse hoher Amplitude, stark bedämpfte kurze Impulse geringer Amplitude.

Zur Erzeugung von Ultraschallimpulsen höherer Energie bedient man sich schon seit längerer Zeit der Stapeltechnik. Hierbei werden N einzelne piezoelektrischen Scheiben (mit wechselnder Polarisationsrichtung) übereinandergestapelt. Diese werden elektrisch zusammengeschaltet (in Serie oder parallel). Bei Anlegen einer elektrischen Spannung schwingt zeigt der gesamte Stapel gegenüber einem Einzelschwinger (mit der gleichen Dicke wie die des Stapels) die N-fache Schwingungsweite (die Dehnung einer piezoelektrischen Platte ist proportional der elektrischen Feldstärke, nicht der elektrischen Spannung).

Die Erfindung betrifft eine Ultraschallwandleranordnung, mit der die Erzeugung und der Empfang von kurzen Ultraschallimpulsen möglich ist und bei der die **Sende-Empfangs-**

Energiebilanz um Größenordnungen besser ist als bei den bisher bekannten Wandlerprinzipien.

Beschreibung der Erfindung

Die Erzeugung extrem energiereicher - und zudem kurzer - Ultraschallimpulse und deren effizienter Empfang wird erfindungsgemäß wie folgt gelöst.

Die Schallerzeugung erfolgt mit einem aus mehreren (N) piezoelektrischen Scheiben aufgebauten Stapel. Im Gegensatz zu den bisher bekannten Stapelwandlern sind die einzelnen Scheiben individuell kontaktiert und werden im Sendefall (Schallerzeugung) zeitlich nacheinander derart elektrisch angeregt, daß ein kurzer Ultraschallimpuls mit hoher Amplitude erzeugt wird. Hierzu wird nach Fig. 1 zuerst Element 1 angesteuert. Element 2 wird mit einer zeitlichen Verzögerung angeregt, die so gewählt wird, daß der von Element 1 erzeugte und durch Element 2 laufende Ultraschall-Impuls verstärkt wird. Der Impuls wird in Element 3 durch entsprechende laufzeitmäßig optimierte Anregung auf gleiche Weise weiter verstärkt. Dieser Vorgang wiederholt sich bis zum Element N, aus dem dann ein Ultraschallimpuls hoher Energie in das angrenzende Medium (Festkörper, Gas, Flüssigkeit) austritt. Der Stapel kann rückseitig (in Fig. 1 links von Element 1) mit einem Dämpfungskörper ausgerüstet sein, mit dem die Bandbreite (Impulslänge) des Ultraschallimpulses beeinflußt werden kann. Frontseitig (zwischen Element N des Wandlers und dem Medium) kann zur energiemäßigen Anpassung eine geeignete Anpaßschicht eingefügt werden. Zur elektrischen Anregung der Stapelelemente dienen N Sende-Endstufen sowie eine Elektronik (digital oder analog) zur Einstellung der optimalen Verzögerungszeiten.

Das gleiche Prinzip wird auf der Empfangsseite angewendet. Ein von rechts einlaufender Ultraschallimpuls läuft durch den Stapelwandler und erzeugt an den Wandlerelemente entsprechend der Schallgeschwindigkeit zeitlich versetzte elektrische Signale (zuerst an Element N, zuletzt an Element 1). Diese Signale werden vorverstärkt, dann in einer Verzögerungselektronik oder numerisch in einem Rechner derart zeitlich gegeneinander verschoben, daß ihre zeitliche Versetzung kompensiert wird. Nach dieser Laufzeitkompensation werden die Signale aufsummiert: das resultierende Empfangssignal besitzt die Amplitude, die der Anzahl der Stapelelemente proportional ist.

Wird das beschriebene Konzept sowohl auf der Sende- als auch auf der Empfangsseite durchgeführt (die zeitliche Reihenfolge und Verzögerungszeiten sind für beide Fälle identisch) resultiert ein Empfangssignal, dessen Amplitude proportional zu N^2 ist. Sende- und Empfangsbetrieb können entweder mit dem gleichen Stapelwandler oder mit zwei räumlich getrennten Wandlern durchgeführt werden.

Um die einzelnen Piezo-Scheiben des Wandlers elektronisch individuell ansteuern zu können, müssen die aneinander grenzenden Elektroden benachbarter Scheiben durch Isolationsschichten elektrisch getrennt werden (Fig. 2). Alternativ kann nach Fig. 3 ein Wandlerelement aus zwei entgegengerichtet polarisierten Scheiben zusammengesetzt werden; diese Anordnung hat den Vorteil, daß die oft akustisch störenden Isolationsschichten entfallen.

Im Falle von luftgekoppelter Anregung von Ultraschallwellen wird zur weiteren entscheidenden Verbesserung der Energiebilanz erfindungsgemäß ein Druckluftgleitschuh

eingesetzt. Unter luftg doppelter Anregung von Ultraschallwellen versteht man, daß der Ultraschallwandler Schallwellen in Luft erzeugt, die nach Durchlaufen einer mehr oder weniger langen Strecke unter einem geeigneten Winkel auf die Festkörperoberfläche auftreffen und im Festkörper Raumwellen (Dichte- oder Scherwellen) oder an der Festkörperoberfläche entlanglaufende Oberflächenwellen (Rayleighwellen oder Kriechwellen) anregen. An plattenförmigen Materialien können verschiedene Plattenwellenmoden angeregt werden. Der Druckluftgleitschuh besteht aus einem Gehäuse, welches unten eine Schallaustrittsöffnung besitzt. Der Druckluftgleitschuh wird über eine geeignete Druckluftzufuhr mit Druckluft versorgt. In ihrer einfachsten Ausführung (Fig. 4) strömt die Druckluft in den Gleitschuhinnenraum und tritt durch die Schallaustrittsöffnung aus. Als Ultraschallwandler wird mit Vorteil der oben beschriebene zeitlich laufzeitgesteuerte Stapelwandler eingesetzt werden. Der Einbau von konventionellen Wandlern in den Luftdruckgleitschuh ist natürlich ebenfalls möglich. Insbesondere für niederfrequente Anwendungen können die Einzelscheiben des Stapels auch phasengleich angeregt werden (die Resonanzfrequenz wird dann durch die Stapellänge bestimmt). Eingebaut werden können natürlich auch konventionelle Einzelschwingerwandler.

Die zwischen Gleitschuhunterfläche und Prüflingsoberfläche radiale Druckluftströmung erzeugt zwischen beiden Flächen einen Unterdruck, der den Druckluftgleitschuh an die Prüflingsoberfläche anzieht. Der sich verringernde Abstand zwischen Gleitschuhunterseite und Prüflingsoberfläche erhöht weiter die Strömungsgeschwindigkeit, was seinerseits zu einer Erhöhung der Anpreßkraft führt. Gleichgewicht stellt sich ein, wenn sich die durch die Radialströmung erzeugte Anziehungskraft gleich der abstoßenden Kraft (verursacht durch den sich im Gleitschuhinnern aufbauenden Druck) ist. Die Dicke des Luftspalts zwischen Gleitschuhunterfläche und Prüflingsoberfläche sowie die Höhe des Drucks im Gleitschuhinnern hängen von der geometrischen Auslegung ab.

Die beschriebene einfachste Version des Druckluftgleitschuhs besitzt gewisse Nachteile, die durch die Turbulenzen im Gleitschuhinnern bedingt sind: insbesondere kommt es zu störenden Fluktuationen der Ultraschallimpulse bezüglich Gestalt und Amplitude. Um diese Störungen zu reduzieren, werden in das Innere des Druckluftschuhs geeignete Vorrichtungen eingebaut. Desweiteren können Schallaustrittsöffnung und Druckluftaustrittsöffnung(en) (alle möglichen Geometrien sind hier denkbar) voneinander getrennt werden. Eine mögliche Version, die sich als sehr leistungsfähig erwiesen hat, ist in 5 dargestellt. Hier ist das Schallbündel von einem Trichtereinsatz (andere Geometrien sind natürlich möglich) umgeben. Das Wechselwirkungsvolumen zwischen turbulenter Druckluft und Schall ist hiermit sehr stark eingeschränkt, was die Turbulenzeffekte entsprechend reduziert. Statt dem Trichter können grundsätzlich alle Einbauteile (Leitbleche, Lochfilter, usw.) verwendet werden, die zu einer Laminarisierung oder Beruhigung der Luftströmung beitragen. Statt der Druckluft kann prinzipiell natürlich jedes andere Gas (z. B. CO_2) verwendet werden.

Der Ultraschall-Wanderwellenwandler kann je nach Anwendung senkrecht zur Prüflingsoberfläche oder zur Erzeugung schräg einfallender Ultraschallwellen geneigt in den Schuh eingebaut werden. Werden Senden und Empfang mit zwei Wandlern realisiert, so besteht die Möglichkeit, diese in getrennte Gleitschuhe oder in einen gemeinsamen Gleitschuh einzubauen. In letzterem Fall können beide Wandler getrennte Schallaustrittsöffnungen mit getrennten Einbauten zur Turbulenzunterdrückung oder gemeinsame Schallaustrittsöffnungen mit gemeinsamem Einbau zur Turbulenzunterdrückung besitzen. Die geometrische Anordnung (Schräglage, gegenseitiger Abstand) wird in

Abhängigkeit von der Anwendung (Prüfung dicker Bauteile oder dünner Bauteile, Anregung von räumlichen Wellen, Oberflächenwellen oder Plattenwellen) angepaßt.

BEST AVAILABLE COPY

Patentansprüche

1. Ultraschallwandler mit in Abstrahlrichtung aufeinander gestapelten piezoelektrischen Scheiben oder Platten, **dadurch gekennzeichnet**, daß die einzelnen piezoelektrischen Scheiben oder Platten individuell elektrisch kontaktiert sind und im Sendefall zur Schallerzeugung mittels bekannter Verzögerungselektronikelemente zeitlich verzögert derart nacheinander elektrisch angesteuert werden, das der vom hinteren Piezo-Element erzeugte Ultraschallimpuls beim Durchlaufen des Stapels laufend verstärkt wird.
2. Ultraschallwandler mit in Abstrahlrichtung aufeinander gestapelten piezoelektrischen Scheiben oder Platten, **dadurch gekennzeichnet**, daß die einzelnen piezoelektrischen Scheiben oder Platten individuell elektrisch kontaktiert sind und im Empfangsfall die einzelnen elektrischen Impulse, die durch einen von vorne nach hinten durch den Wandler laufenden Ultraschallimpuls derart gegeneinander verzögert werden, daß die durch die unterschiedlichen Laufwege bedingten Zeitunterschiede kompensiert werden und die derart zeitkorrigierten elektrischen Einzelimpulse anschließend aufsummiert werden.
3. Ultraschallwandler nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die einzelnen Piezo-Schwinger in gleicher Richtung polarisiert sind und daß zur elektrischen Isolation der Einzelschwinger zwischen den Elektroden zweier benachbarter Schwinger eine Isolationsschicht eingebaut ist.
4. Ultraschallwandler nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, jedes Element des Stapels aus zwei Teilelementen, die einander entgegen gerichtet polarisiert sind.
5. Ultraschallwandler nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Stapel rückseitig mit einem Dämpfungskörper versehen sein kann und frontseitig zur Vergrößerung des Energietransfers mit einer Anpaßschicht ausgerüstet sein kann.
6. Ultraschallwandler nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schallabstrahlung in ein Gas, eine Flüssigkeit und einen Festkörper erfolgen kann.
7. Druckgasgleitschuh zur Verbesserung der Energiebilanz bei Anregung von Ultraschallimpulsen an oder in Festkörpern über eine Gasvorlaufstrecke (insbesondere Luftvorlaufstrecke), **dadurch gekennzeichnet**, daß der Schallwandler in geeigneter Orientierung in den Druckgasgleitschuh eingebaut ist und daß der Gleitschuh auf der Unterseite eine Schallaustrittsöffnung besitzt.
8. Druckgasgleitschuh nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Gleitschuh über eine Druckgaszuleitung im Inneren einen Druck aufbaut, der den Energietransfer sowohl an der Grenzfläche Ultraschallwandler/Gas als auch an der Grenzfläche Gas/Festkörper proportional zum herrschenden Druck verbessert.
9. Druckgasgleitschuh nach Ansprüchen 7 und 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Gas von der Schallaustrittsöffnung oder getrennten Öffnungen zwischen Gleitschuhunterflä-

che und Prüflingsoberfläche nach außen strömt und der dabei auftretende Unterdruck den Gleitschuh soweit an die Prüflingsoberfläche heranzieht, bis sich ein Gaskissen der Dicke eingestellt hat, bei dem sich die anziehenden und abstoßenden Kräfte die Waage halten.

10. Druckgasgleitschuh nach den Ansprüchen 7, 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, daß in den Wandler Einbauten (z.B. Trichter, Leitbleche) zur Beeinflussung der Gasströmung, insbesondere zur Unterdrückung von Turbulenzen eingebaut sein können.

11. Druckgasgleitschuh nach den Ansprüchen 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß in den gleichen Gleitschuh zwei Ultraschallwandler (z.B. ein Sendewandler und ein Empfangswandler) in geeigneter Anordnung untergebracht sein können.

12. Druckgasgleitschuh nach den Ansprüchen 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß insbesondere die unter den Ansprüchen 1 bis 5 beschriebenen Stapelwandler eingesetzt werden können.

13. Druckgasgleitschuh nach den Ansprüchen 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß an Festkörpern je nach geometrischer Auslegung Oberflächenwellen, Plattenwellen oder räumliche Wellen (Dichtewellen, Scherwellen) angeregt und empfangen werden können.

BEST AVAILABLE COPY

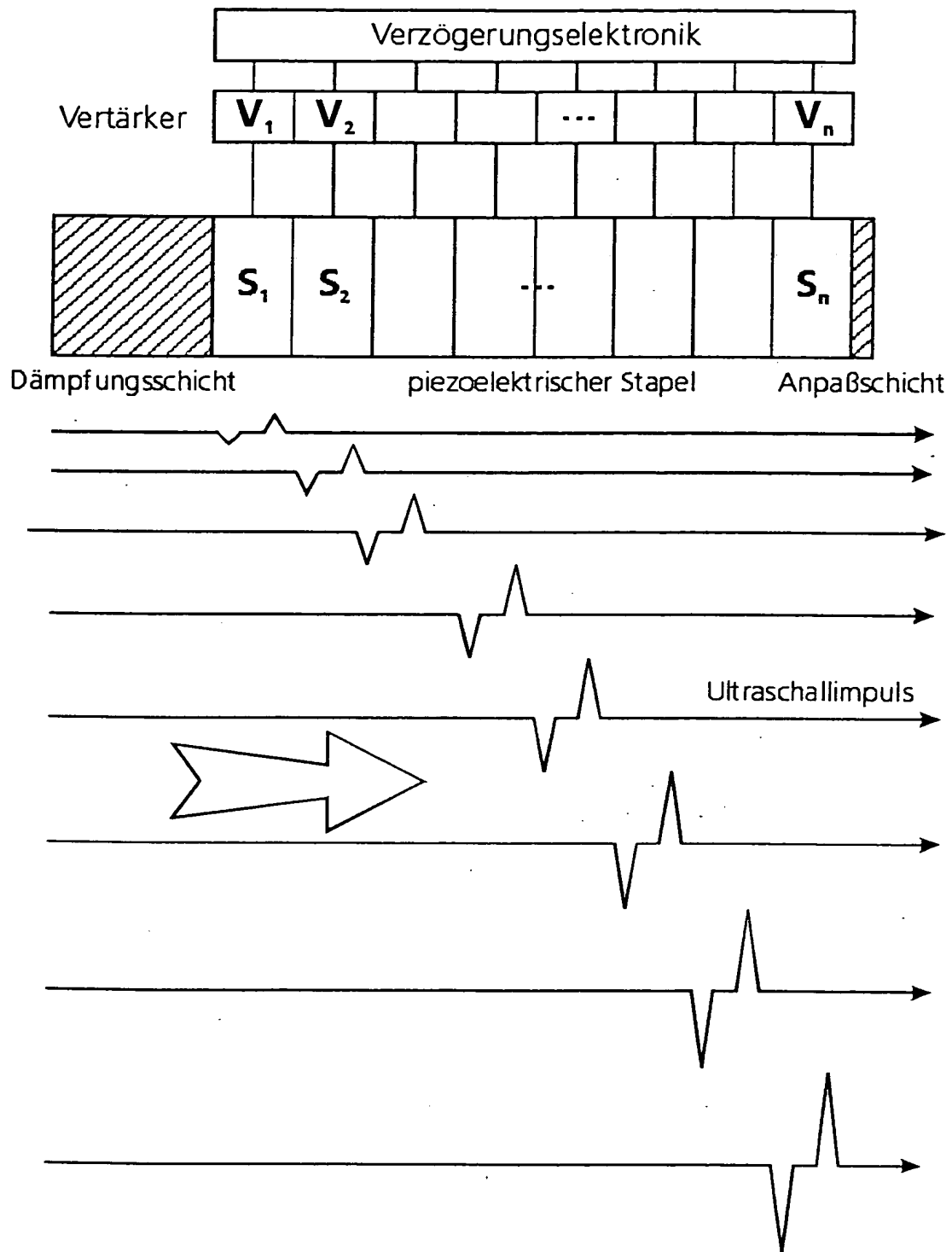


Fig. 1: Prinzip Ultraschall-Leistungswandler

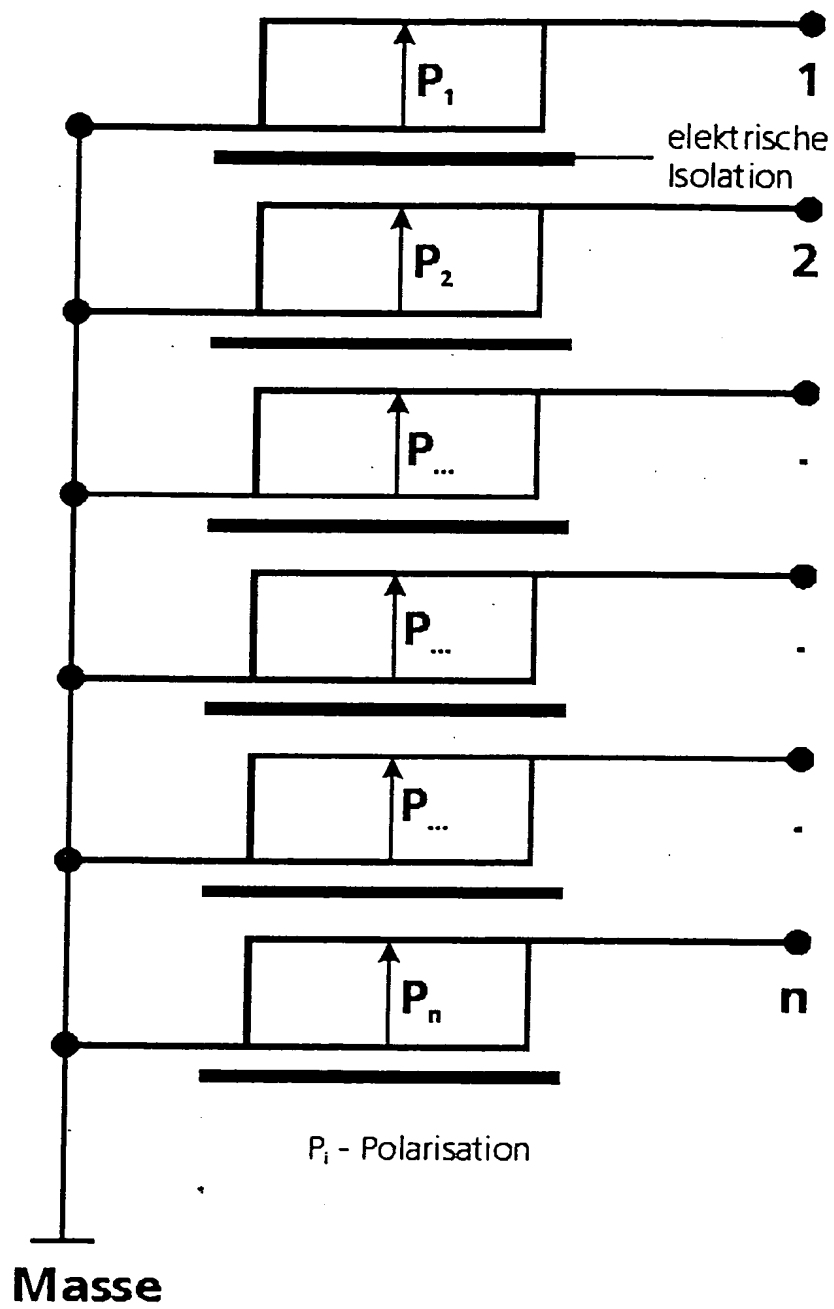


Fig. 2: Schaltschema

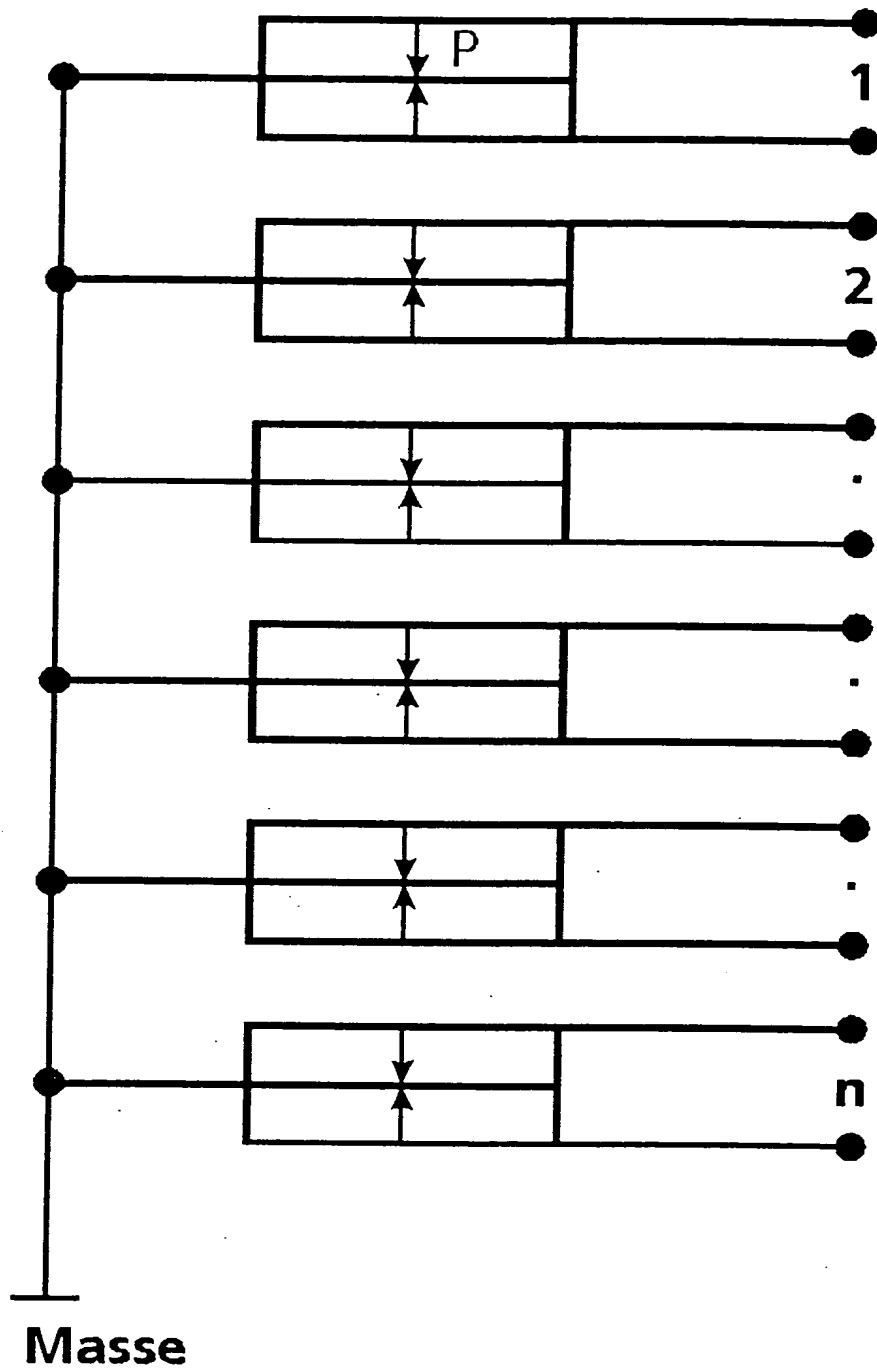


Fig. 3: Schaltschema

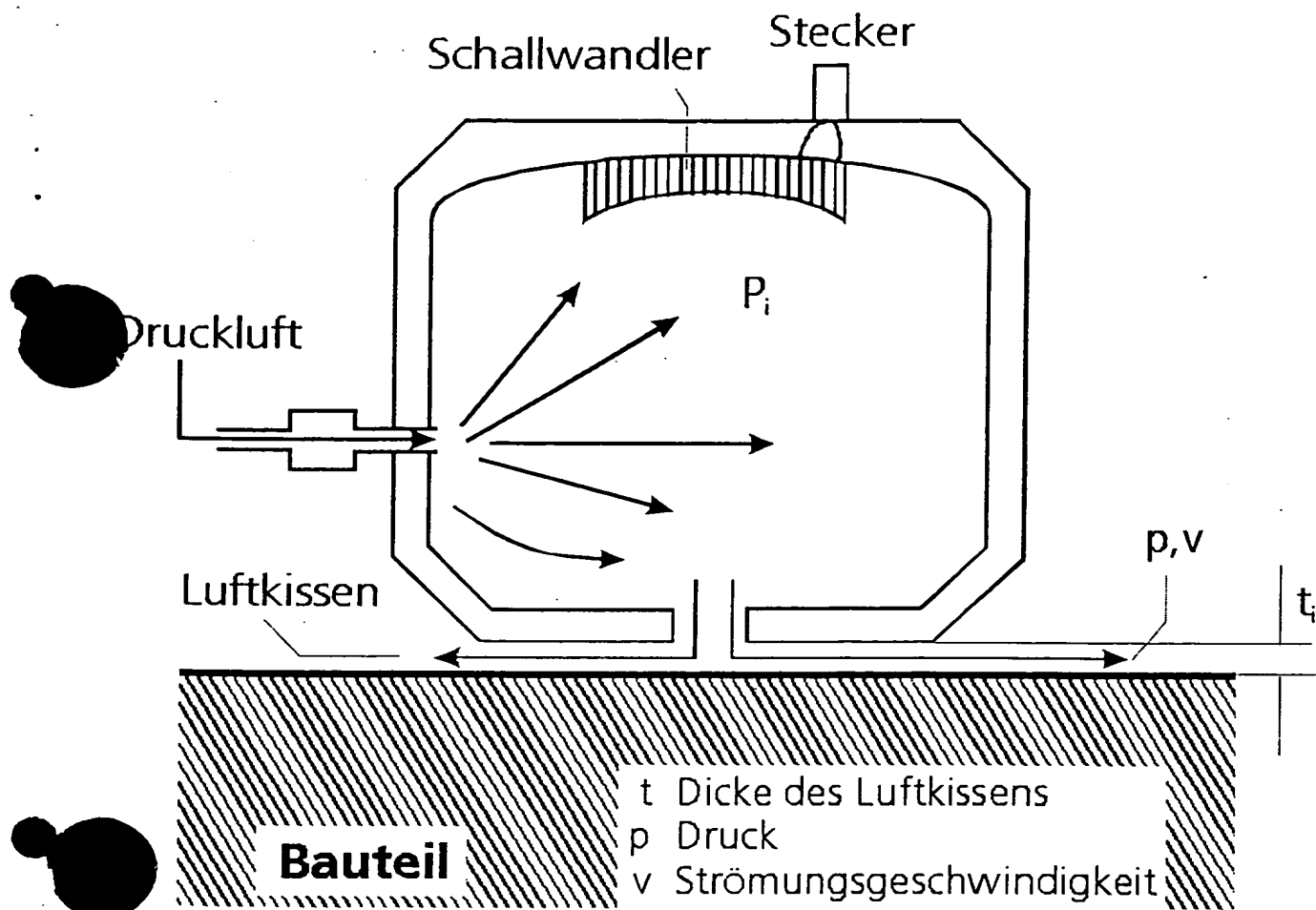


Fig. 4: Druckluftgleitschuh - Prinzip

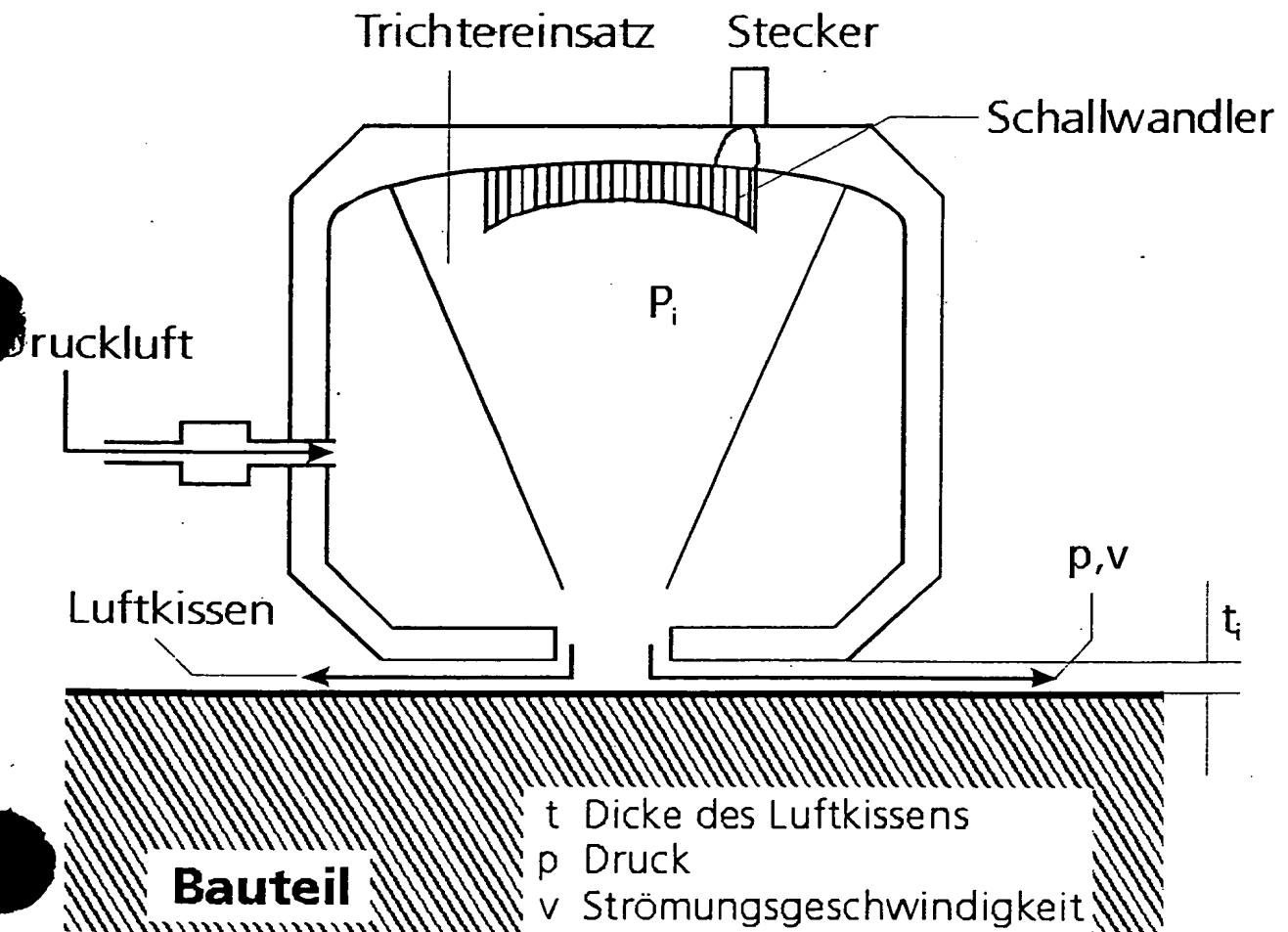


Fig. 5: Druckluftgleitschuh - Prinzip